

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

DENIS SCHECHTEL NEVES

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DO USO, NA AGRICULTURA, DO LODO
DE ETA COM ELEVADO TEOR DE MANGANÊS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA
2019

DENIS SCHECHTEL NEVES

**ANÁLISE DA APLICAÇÃO DO USO, NA AGRICULTURA, DO LODO DE ETA
COM ELEVADO TEOR DE MANGANÊS**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso, do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Poletto Tesser

PONTA GROSSA
2019



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Ponta Grossa
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Departamento Acadêmico de Mecânica
Bacharelado em Engenharia Mecânica



TERMO DE APROVAÇÃO

**ANALISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DO USO, NA AGRICULTURA, DO LODO DE
ETA COM ELEVADO TEOR DE MANGANÊS**

por

DENIS SCHECHTEL NEVES

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 29 de maio de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Daniel Poletto Tesser

Orientador

Prof. Dr. Matheus Pereira Postigo

Membro Titular

Prof. Dr. Fábio Neves Puglieri

Membro Titular

Prof. Dr. Marcos Eduardo Soares

Responsável pelos TCC

**Prof. Dr. Marcelo Vasconcelos de
Carvalho**

Coordenador do Curso

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”

RESUMO

NEVES, Denis Schechtel. **Análise da Viabilidade Técnica do Uso, na Agricultura, do Lodo de ETA com Elevado Teor de Manganês.** 2019. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Mecânica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2019.

A destinação final adequada do lodo gerado nas Estações de Tratamento de Águas (ETAs) é fator fundamental para que um sistema de abastecimento atinja, integralmente, seus objetivos de saúde pública, responsabilidade social e ambiental. O uso agrícola tem se apresentado como uma potencial opção de destinação, pois este lodo pode apresentar concentrações significativas de ferro (Fe) e manganês (Mn), que tem aplicabilidade na agricultura como correção de micronutrientes do solo. O objetivo consistiu em avaliar a potencialidade do lodo da ETA de Sengés/PR, como minério concentrado fornecedor do micronutriente manganês para compor a matriz de fertilizantes. As etapas desenvolvidas na pesquisa foram: Estudo piloto para verificação da ocorrência de concentração de manganês no lodo, determinação de sólidos totais e sólidos fixos das amostras coletadas, determinação da composição química das amostras coletadas e avaliação da potencialidade de concentração de minério de manganês para compor matriz de fertilizante. A relação verificada de sólidos totais entre o lodo úmido e o lodo seco foi de cerca de 9%. Para o material seco, a porcentagem média determinada de sólidos fixos (agregado mineral) foi de 89,85%, com concentração média de manganês, detectada de 45,34%. A avaliação de potencialidade de concentração de minério de manganês, para compor a matriz de fertilizante, resultou em possível extração de manganês, do agregado mineral gerado, de cerca de 45,98 kg/mês, que resulta em atendimento de uma área de 131,37 ha/mês de solo com deficiência de manganês. Concluiu-se que o lodo proveniente da ETA de Sengés pode ser uma alternativa de fonte fornecedora de manganês para compor a matriz de fertilizantes de solos, podendo atender a demanda de pequenos produtores, sendo uma nova alternativa de destinação do resíduo gerado no processo de tratamento de águas de abastecimento que incorpora valor agregado ao resíduo e incute minoração da degradação ambiental na produção de fertilizantes.

Palavras-chave: Manganês. Agricultura. Estação de Tratamento de Água. Lodo. Economia Circular.

ABSTRACT

NEVES, Denis Schechtel. **Analysis of the Technical Feasibility of the Sludge of Treatment Water of High Manganese Content in the Agriculture.** 2019. 48 p. Monography (University graduate) – mechanical Engineering. Federal Technological University of Paraná. Ponta Grossa, 2019.

Proper disposal of sludge from Water Treatment Plants (ETAs) is essential to achieve the objectives of: public health, social responsibility and environmental responsibility. The agricultural use is a potential destination, since the sludge presents significant concentrations of iron (Fe) and manganese (Mn), with applicability in agriculture as correction of micronutrients of the soil. The objective was to evaluate the potential of the sludge from Sengés / PR generated in ETA, as a concentrated ore supplier of the manganese micronutrient to compose the fertilizer matrix. The steps developed in the research were pilot study to verify the occurrence of manganese concentration in the sludge, determination of total solids and fixed solids of the samples collected, determination of the chemical composition of the collected samples and evaluation of the potentiality of manganese ore concentration to compose fertilizer matrix. The verified ratio of total solids between the wet sludge and the dry sludge was about 9%. For the dry material, the determined average percentage of fixed solids (mineral aggregate) was 89.85%, with a manganese concentration of 45.34%. The evaluation of potentiality of manganese ore concentration to compose the fertilizer matrix resulted in 45,98 kg/month of average manganese extraction, of the generated mineral aggregate, which covers an area of 131,37 ha/month of soil with manganese deficiency. This sludge may be an alternative to provide manganese to compose the soil fertilizer matrix to meet the demand of small producers, as a new alternative of destination of the waste generated in the process of treatment of water supply, incorporating the value added to waste and reduction of environmental degradation in fertilizer production.

Keywords: Manganese. Agriculture. Treatment Plants of the Water. Sludge. Circular Economy.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA	16
1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS	16
1.3 OBJETIVO GERAL	17
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
2.1 CONCEITO DE IMPUREZA E QUALIDADE DA ÁGUA	18
2.2 O MANGANÊS NA ÁGUA DE ABASTECIMENTO	18
2.2.1 Remoção de Manganês por Oxidação Química seguida de Filtração em Tratamento de Água	19
2.2.2 Lodo Gerado no Tratamento de Água	22
2.3 MANGANÊS (Mn) COMO MICRONUTRIENTE AGRÍCOLA	23
2.3.1 Manganês na planta	23
2.3.2 Manganês no solo.....	24
3 MATERIAIS E MÉTODOS	25
3.1 DESCRIÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE SENGÉS	25
3.2 ESTUDO PILOTO	30
3.3 COLETA DE LODO PARA DETERMINAÇÃO DE SÓLIDOS FIXOS E TOTAIS, ANÁLISE QUÍMICA	31
3.3.1 Sólidos Totais	32
3.3.2 Sólidos Fixos	35
3.3.3 Determinação da Composição Química	36
3.4 AVALIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO E QUANTIDADE DE MINÉRIO DE MANGANÊS (MN) PARA COMPOR MATRIZ DE FERTILIZANTES	37
4 RESULTADOS	38
4.1. RESULTADOS DAS COMPOSIÇÕES QUÍMICAS DO ENSAIO PILOTO	38
4.2 DETERMINAÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS E SÓLIDOS FIXOS	39
4.3 RESULTADOS DA DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS AMOSTRAS COLETADAS	40
4.4 AVALIAÇÃO DA POTENCIALIDADE DE CONCENTRAÇÃO DE MINÉRIO DE MANGANÊS (MN) PARA COMPOR MATRIZ DE FERTILIZANTE	41
4.5 DISCUSÕES	42
5 CONCLUSÕES	44
REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

A destinação final adequada do lodo gerado nas Estações de Tratamento de Águas (ETAs) é fator fundamental para que um sistema de abastecimento atinja, integralmente, seus objetivos de: saúde pública, responsabilidade social e ambiental (DI BERNARDO; PAZ, 2008).

O destino destes resíduos de ETA vinha ocorrendo nos cursos de água próximos das estações, no entanto, a crescente preocupação e a regulamentação têm restringido ou proibido essa disposição. Esta prática tem sido questionada por órgãos ambientais, devido aos riscos à saúde e ao meio ambiente, (PORTELLA et al., 2003).

O motivo deste questionamento se deve ao fato dos lodos de ETAs estarem classificados como classe II, não inerte, com solubilidade em água, segundo NBR 10.004 de 2004. Portanto deve ser tratado e descartado de forma correta, de acordo a Lei 12.305 – Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

As opções atuais mais viáveis, sob os aspectos ambientais, econômico, técnico e operacional, são o uso agrícola e a disposição em aterro sanitário ou industrial licenciado (BITTENCOURT, 2014). Essas ações são previstas na Política Nacional de Resíduos Sólidos do Brasil, ao estabelecer que, na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser considerada a ordem de prioridade seguinte: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e a disposição em aterro (BRASIL, 2010).

Várias alternativas são sugeridas para a destinação destes resíduos, como: disposição em aterros ou Estação de Tratamento de Esgoto (ETEs), Fabricação de cimento ou tijolos, cultivo de grama comercial, compostagem, produção de solo comercial, aplicações agrícolas, plantação de cítricos (TSUTIYA; HIRATA, 2011).

Dessa forma, o uso agrícola tem se apresentado como uma potencial opção de destinação. Essa destinação proporciona benefícios à sociedade e ao ambiente, pois contribui para o cultivo de alimentos e para conservação do solo e da água (BITTENCOURT, 2014).

Para apresentar uma alternativa final adequada, é necessário conhecer as características do lodo da ETA, visando propor um destino final deste resíduo, de acordo com suas características (PORTELLA et al., 2003).

O lodo das ETA, como Resíduo sólido, pode se transformar em fertilizante utilizável na agricultura que, quando adicionado ao solo, melhora as suas características físicas, químicas e biológicas (LIMA, 2004). Conseqüentemente, o lodo serve para enriquecer solos pobres, melhorando a sua estrutura e permitindo uma boa fertilidade, também, aumentando a capacidade das plantas na absorção de nutrientes (macro e micro), fornecendo substâncias que estimulam seu crescimento (PARÁ, 2003).

Deste modo o resíduo é um recurso, algo que encerra um potencial de aproveitamento, de valorização e que pode e deve estar na origem de um novo produto (BRAUNGART; MCDONOUGH, 2002, 2013; BRAUNGART et al., 2007). Este conceito tem como objetivo possibilitar redução da procura por matérias primas, do consumo de energia e da produção de resíduos, logo, a degradação ambiental, promovendo, simultaneamente, a eficiência econômica (BRAUNGART; MCDONOUGH, 2002; BRAUNGART et al., 2007; HAWKEN et al., 2007; STAHEL, 2010 apud LEITÃO, 2015).

1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O resíduo da Estação de Tratamento de Água para abastecimento público de Sengés/PR apresenta elevado teor de manganês (Mn), sendo considerado um resíduo de difícil disposição.

Neste sentido, análise técnica do uso deste resíduo como potencial fornecedor de minério de manganês para fertilizantes com aplicação na agricultura, o torna atraente visto que este é um micronutriente essencial para fotossíntese e importante para reduzir nitrato em nitrito nas plantas.

Analisar a concentração e quantidade de minério de manganês no resíduo gerado na ETA, apresentaria uma alternativa de destinação adequada ao modelo de economia circular para resíduos gerados nos processos de tratamento de águas de abastecimento.

1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

A problemática do lodo gerado no processo de tratamento de água, do ponto de vista quantitativo e qualitativo, é hoje uma das dificuldades para as

instituições que operam sistemas de tratamento de água, seja pela questão da disposição adequada, visando atender à legislação vigente, seja pela questão do reaproveitamento de materiais (sustentabilidade ambiental) (DI BERNARDO; PAZ, 2008).

O lodo gerado no processo de tratamento de água subterrânea de Sengés é rico em metais, com ocorrência de concentrações elevadas de ferro (Fe) e manganês pois esta água possui elevada concentração de oxigênio dissolvido (SANEPAR, 2018; AZEVEDO NETO et al., 1978). Este lodo com concentrações significativas de ferro e manganês pode ter aplicabilidade como correção de micronutrientes do solo (DI BERNARDO E PAZ, 2008).

Assim, esta pesquisa analisa a potencialidade do lodo da ETA de Sengés/PR, como minério concentrado fornecedor do micronutriente manganês (Mn) para compor a matriz de fertilizantes.

1.3 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral é analisar a potencialidade do lodo, gerado no processo de tratamento de água de abastecimento, como fonte de minério concentrado fornecedor de micronutriente manganês, a ser aplicado na agricultura.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- (1) Realização de estudo piloto para verificar a ocorrência de concentração de manganês no lodo;
- (2) Determinação da concentração de manganês no lodo;
- (3) Avaliação do potencial de uso para a agricultura.

Será apresentado na próxima seção a revisão bibliográfica, a fim de demonstrar os principais conceitos que nortearam a análise do trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste item, serão apresentados os principais conceitos da literatura com relação à ocorrência de manganês nas águas de abastecimento, bem como, serão apresentados os principais processos de remoção deste metal em sistemas de tratamento de água de abastecimento, processos estes consolidados pela *AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA)*.

Também é feita uma apresentação do manganês como importante micronutriente de plantas. Esta conceituação é oportuna, uma vez que, esta pesquisa analisa a potencialidade de utilização deste resíduo do processo de tratamento de água de abastecimento, como minério concentrado de manganês para utilização como fertilizante com aplicação na agricultura.

2.1 CONCEITO DE IMPUREZA E QUALIDADE DA ÁGUA

A água pura, não existe na natureza, uma vez que, esta é um solvente universal (AZEVEDO NETO et al., 1978). A água para consumo humano deve ser potável, pois existe uma série de impurezas que a caracterizam fisicamente, quimicamente e biologicamente (AZEVEDO NETO et al., 1978). Estas características determinam a qualidade da água e, conseqüentemente, o grau de tratamento a ser efetuado para que esta água seja disponibilizada para consumo. Ressalta-se que, o conceito de impureza de uma água é relativo, pois é função do uso que se pretende dar a água (DI BERNARDO; PAZ, 2008).

Para os diferentes tipos de águas devemos determinar o tratamento mais adequado. No caso de água de abastecimento, com elevadas concentrações de ferro (Fe) e manganês, exige um processo de tratamento diferente de um tratamento convencional de água de abastecimento.

2.2 O MANGANÊS NA ÁGUA DE ABASTECIMENTO

Com relação ao estado de incorporação da impureza, sulfatos, cloretos, sódio, fluoretos, ferro, manganês, nitritos e nitrato podem ser classificados como impurezas em dissolução (CONNER, 2000; AZEVEDO NETO et al., 1978).

Conforme a Portaria Federal do Ministério da Saúde n.º 2914/2011, que fixa os padrões de potabilidade para a água tratada, tem-se (Quadro 1, a seguir):

Quadro 1 – Valores Máximos Permitidos (VMP) para a água tratada

Parâmetro	VMP
Sulfato	250 mg/l
Cloreto	250 mg/l
Sódio	200 mg/l
Fluoreto	1,5 mg/l
Ferro	0,3 mg/l
Manganês	0,1 mg/l
Nitrito	1 mg/l
Nitrato	10 mg/l

O manganês tem menor ocorrência em águas de abastecimento do que o ferro e, geralmente, a sua ocorrência está associada à presença do ferro. Ocorre no solo ou mineralizado, geralmente, na forma de dióxido mangânico. Sua forma solúvel ocorre, geralmente, em águas subterrâneas na forma de bicarbonato manganoso. Na forma insolúvel, ocorre mineralizado como carbonato insolúvel, sendo os mais abundantes a rodocrosita ($MnCO_3$) e a pirolusita (MnO_2) (MORUZZI; REALI, 2012; WALDE, 1985).

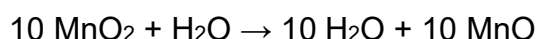
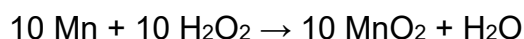
De remoção mais difícil, os danos causados pela presença de manganês, em águas para consumo humano, se assemelham aos danos causados pela presença de ferro, sua coloração púrpura confere limitações de ordem estética à utilização desta água, contudo, em maior escala do que os problemas provocados pela presença de ferro (RICHTER; AZEVEDO NETO, 2007).

2.2.1 Remoção de Manganês por Oxidação Química seguida de Filtração em Tratamento de Água

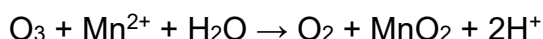
A oxidação química do manganês dissolvido é efetuada através da injeção de agentes oxidantes a base de oxigênio molecular, cloro ou permanganato, tais como o peróxido de hidrogênio (H_2O_2), o ozônio (O_3), o gás cloro (Cl_2), o dióxido de cloro (ClO_2), o hipoclorito de sódio ($NaClO$) e o permanganato de potássio ($KMnO_4$) (BENEFIELD; MORGAN, 1990; CLEASBY, 1975).

As reações químicas de remoção de manganês por adição de agentes oxidantes são (AWWA, 2011; BENEFIELD; MORGAN, 1990):

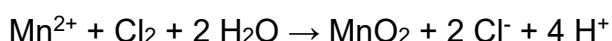
- Para o peróxido de hidrogênio (reação Fenton)



- Para ozônio



- Para gás cloro



- Para o permanganato de potássio



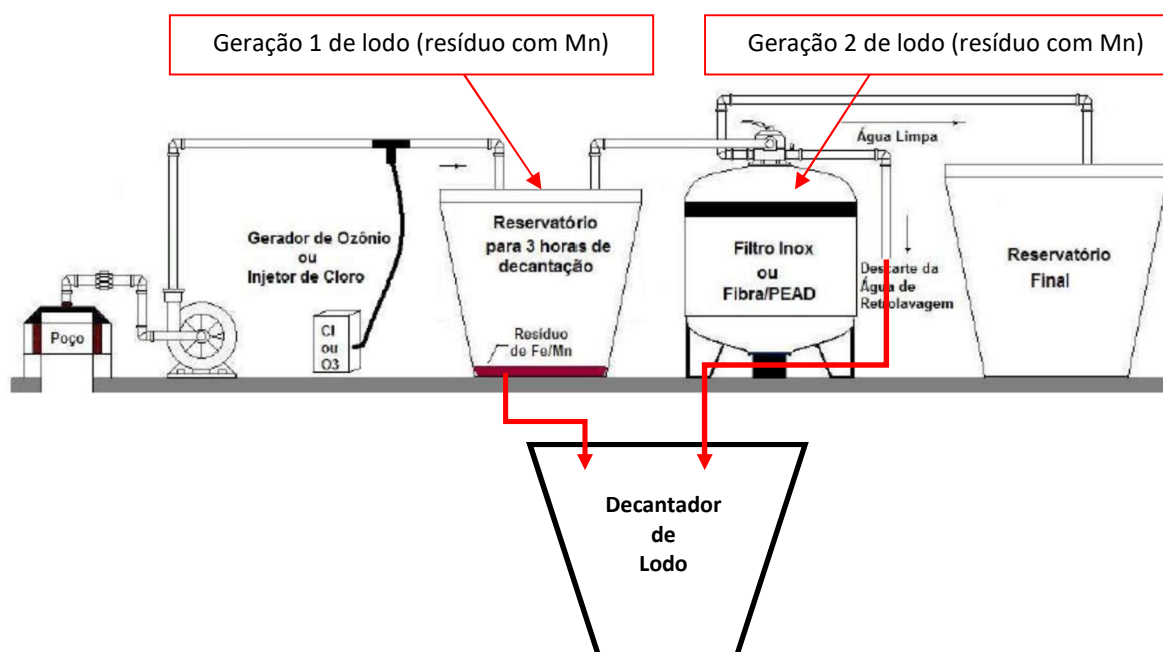
Os oxidantes são aplicados por injetor em linha através de uma bomba dosadora, sendo a solução, posteriormente, conduzida para um tanque de contato, sendo que, o tempo de permanência requerido neste ponto depende das características da água e do oxidante aplicado. Após este tempo, a água deverá passar por processo de filtração direta, com meios filtrantes usuais ou especiais, ou ainda, combinados (CONNER, 2000).

No processo de filtração, sobre pressão e temperatura controlada, propriamente dito, se o material de recheio é adsorvente, o agente empreendedor do processo de remoção será a oxidação catalítica (CONNER, 2000).

O Manganite é um dos materiais mais antigos para remoção de manganês em águas de abastecimento. O elevado estado de oxidação do manganês e o oxigênio disponível do próprio meio filtrante ($\text{MnO}[\text{OH}]$) permitem a reação. Neste tipo de filtros, a capacidade de oxidação deve ser periodicamente restabelecida, quer através de lavagem contracorrente com água (que contenha uma concentração razoável de O_2), quer passando pelo filtro uma solução de hipoclorito de sódio, não sendo aconselhável a sua aplicação em sistemas de produção de vapor. Atualmente, ainda se encontram em utilização este tipo de materiais, comercialmente pode-se citar o *Pyrolox*[®], sendo importados, nomeadamente os do tipo "*Pyrolusite*" (MnO_2) (CONNER, 2000).

Na Figura 01, é apresentado um esquema de um sistema de oxidação química seguida de filtração direta.

Figura 01 – Esquema de um sistema de oxidação química e filtração pressurizada



Fonte: NATURALTEC (2015), adaptado pelo autor.

De maneira geral o sistema é composto pelos seguintes elementos:

1. Poço de onde provem a água para o abastecimento;
2. Bomba de recalque do poço à ETA;
3. Dosador de cloro ou ozônio
4. Reservatório de contato, onde ocorre oxidação da água do poço;
5. Filtro de pressão, onde ocorre a adsorção do resíduo gerado na oxidação química;
6. Reservatório final de água tratada para o abastecimento;
7. Decantador das águas de lavagem do filtro e adensador de lodo.

Para maior clareza do processo de tratamento, apresentamos na Figura 02, a planta da Sanepar para tratamento de água de Sengés.

Figura 02 – Planta de tratamento por oxidação química e filtros de pressão



Fonte: Autoria Própria.

Nesta figura são apresentados apenas os principais elementos do tratamento, reservatório de contato, filtros de pressão e o decantador de lodo.

2.2.2 Lodo Gerado no Tratamento de Água

É definido como “lodo” todo resíduo proveniente do tratamento do tratamento de água para abastecimento a partir de água *in natura*. O termo “resíduo sólido” é mais adequado do que o termo “lodo”, quando considerado para aplicações de reuso/reciclagem (GODBOLD et al, 2003 apud ANDRADE, 2005).

O volume e massa de resíduos produzidos por uma ETA são determinados, principalmente, pela qualidade da água captada (turbidez ou concentrações de sólidos), tecnologia de tratamento empregada, metas de tratamento (níveis de turbidez e dureza a serem atingidos pelo tratamento) e a maneira pela qual a ETA é operada (CORNWELL et al, 2006; DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

2.3 MANGANÊS (Mn) COMO MICRONUTRIENTE AGRÍCOLA

Dentre as funções do Mn na planta, a mais conhecida é a sua participação na fotossíntese, onde participa na liberação fotoquímica do O₂. O Mn, também, é importante para reduzir nitrato a nitrito. Dentre todos os micronutrientes, parece ser este o mais importante para o desenvolvimento de resistência a doenças fúngicas das raízes e das folhas. Além de ter participação indireta na inibição de fungos, pois a sua exigência por fungo é cem vezes menor que a das plantas, o que faz com que concentrações adequadas para as plantas sejam tóxicas para patógenos (MALAVOLTA et al., 1997 apud GIROLDO, 2000).

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, em sua Instrução Normativa n.º 46/2016, Anexo V, apresenta os minérios concentrados, indicados para fabricação de fertilizantes complexos ricos em manganês. O composto mineral deve apresentar valores acima de 15% de manganês (BRASIL, 2016).

2.3.1 Manganês na planta

O papel mais bem documentado e exclusivo do Mn em plantas verdes é a reação de quebra da molécula da água e do sistema de evolução de O₂ na fotossíntese que ocorre nos cloroplastos, denominado reação de *Hill*. Os cloroplastos são as mais sensíveis de todas as organelas celulares à deficiência de Mn. Os sintomas da deficiência de Mn são, primeiramente, visíveis nas folhas mais jovens, aparecem pequenas manchas amarelas (Figura 03). O nível crítico de deficiência deste nutriente para a maioria das espécies de plantas situa-se no intervalo de 10 mg.kg⁻¹ a 20 mg.kg⁻¹ (KIRKBY; RÖMHELD, 2007).

Figura 03 – Deficiência de Manganês (Mn)



Fonte: Brasil Agrícola (2012).

2.3.2 Manganês no solo

Os teores totais de manganês no solo variam entre 20 a 3000 mg.kg⁻¹ de solo, ficando, geralmente, em torno de 600 mg.kg⁻¹ de solo (TISDALE et al., 1993 apud GIROLDO, 2000). Quando os valores de manganês no solo ficam a baixo de 20 mg.kg⁻¹, ocorre a deficiência e deve ser corrigida para garantir a saúde das plantas.

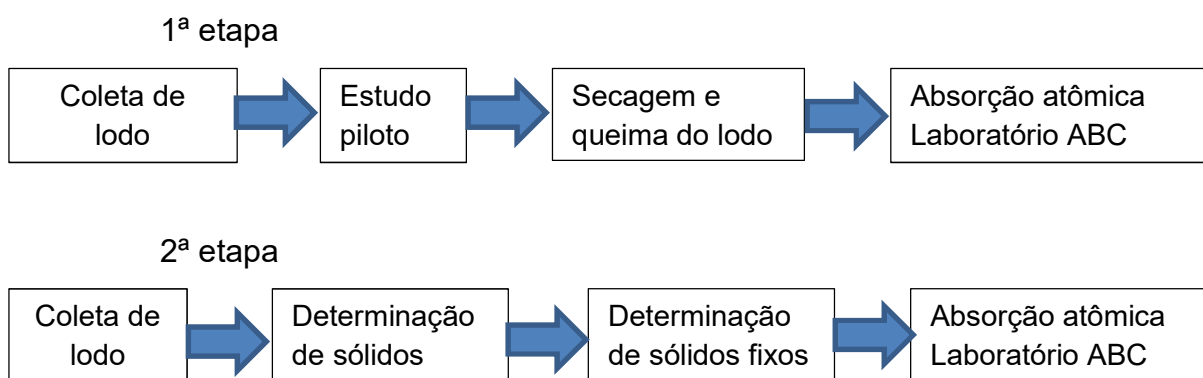
No caso da deficiência de manganês, indica-se a aplicação de 350 g.ha⁻¹ (grama por hectare) de manganês, via foliar, diluído em água, para lavoura de soja. Essa é a recomendação oficial do "Sistema de Pesquisa Agropecuária do Brasil" (EMBRAPA, 1996).

Essa deficiência ocorre, principalmente, nos estados de Góias, Minas Gerais, Distrito Federal, Mato Grosso e Bahia (EMBRAPA, 1996). No Paraná e na região dos Campos Gerais, devido a aplicação de calcário, pode aumentar em demasia o pH do solo, e isto diminui o teor de nutriente disponível no solo (SFREDO, 2008). Neste caso ocorre a necessidade da correção de manganês nas plantas.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram realizadas duas etapas de análise para se levantar a real potencialidade de aplicação do lodo na cultura de soja. A primeira etapa, denominada estudo piloto, foi realizada para se verificar a presença de manganês no lodo gerado da ETA de Sengés e justificar a próxima etapa. A segunda etapa foi a análise mais completa do lodo em condições ideais de coleta e produção real de lodo, chegando a valores reais para possíveis utilização.

Desta forma seguiram-se os seguintes passos:



3.1 DESCRIÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE SENGÉS

O Sistema de Abastecimento de Água da sede urbana do município de Sengés é abastecido por três mananciais subterrâneos, onde o Poço 06, apresenta elevada concentração de manganês, requerendo tratamento específico (Figura 04).

Figura 04 – Poço 06



Fonte: Autorial Própria.

O poço contribui com a maior vazão do sistema, tem seu tratamento por oxidação química seguido de filtração com processo de oxidação catalítica (Figura 05).

Figura 05 – Sistema de Tratamento



Fonte: Autorial Própria.

A água do Poço 06 apresenta excesso de manganês para consumo humano, segundo classificação da Resolução Conama n.º 357/2005 para seu enquadramento. A água bruta é recalçada do Poço 06 até à área da ETA. Na chegada, é armazenada em um reservatório metálico, do tipo apoiado, circular e horizontal, com capacidade de 80 m³ (Figura 06).

Figura 06 – Reservatório apoiado de contato



Fonte: Autoria Própria.

Neste reservatório, é aplicado o oxidante (Hipoclorito de sódio líquido), a fim de promover a precipitação do manganês. O tempo médio de detenção neste

reservatório é de 2 horas. Após o tempo de detenção, a água oxidada segue para o processo de filtração.

Os filtros são do tipo metálicos, pressurizados, com material de recheio adsorvente, a saber, Pirolusita (manganite comercial) (Figura 07).

Figura 07 – Filtros pressurizados



Fonte: Autoria Própria.

A filtração se dá no sentido descendente, sendo que os filtros operam, em paralelo, 14 horas por dia. A água filtrada é encaminhada por linha pressurizada para um reservatório de distribuição, do tipo metálico, apoiado, circular, vertical, com capacidade de 80 m³ (Figura 08).

Durante o tempo de operação dos filtros, ocorre o processo de lavagem dos mesmos, em virtude da saturação do material de recheio do filtro. Esta operação é efetuada, de forma individual, a cada 4 horas, ou seja, após 4 horas de operação é lavado o filtro mais saturado, após 8 horas de operação é lavado o segundo filtro mais saturado e assim sucessivamente.

A operação de lavagem é efetuada a pressão de forma ascendente no filtro. Após a lavagem, o filtro, ainda pressurizado, drena o efluente do processo de lavagem (lodo fluidificado). Este efluente é encaminhado para a entrada do decantador de lodo (Figura 09).

Figura 08 – Reservatório de distribuição

Fonte: Aatoria Própria.

Figura 09 – Decantador de lodo

Fonte: Aatoria Própria.

O tempo de detenção no decantador de lodo é de 48 horas, ou seja, a cada dois dias é efetuada a descarga parcial de um terço do volume do fundo cônico do decantador, a saber, $0,08 \text{ m}^3$, que segue para a rede coletora de esgoto e, posterior, disposição na estação de tratamento de esgoto existente na cidade de Sengés.

Não é aplicado nenhum outro produto químico, além do hipoclorito de sódio líquido da pré-oxidação, na água bruta do poço.

A Tabela 1 apresenta as características médias da água bruta do poço 06 afluyente à ETA-Sengés.

Tabela 1 – Características da Água Bruta

Parâmetro	Média
Temperatura [°C]	17
pH	6,60
Turbidez [uT]	0,50
Cor aparente [uH]	2,50
Manganês [mg.L ⁻¹]	1,05
E. Coli [NPM.100mL ⁻¹]	< 1/100 mL
Coliformes totais [NPM]	< 1/100 mL

Fonte: Aatoria Própria.

Como verificar os valores médios de manganês, objeto deste estudo, está muito acima do permitido pela legislação, que é 0,1 mg.L⁻¹, como vimos no Quadro 1. Portanto, requer tratamento adequado, para remoção do manganês.

3.2 ESTUDO PILOTO

A coleta para o estudo foi efetuada em junho/2018, após a operação de descarga do decantador de lodo e ao final da bateria de lavagem dos filtros, a fim de que se pudesse verificar a ocorrência de concentração significativa de manganês (Mn), na condição mais desfavorável, ou seja, o lodo estava em seu estágio inicial de adensamento.

Foram coletados cerca de 20 litros de lodo, acondicionado em recipiente plástico, limpo, inerte e atóxico, posteriormente, levado para o laboratório da Sanepar, para preparação da amostra a ser encaminhada ao laboratório de análise da composição do material, para determinação do teor de elementos químicos presentes.

O material coletado foi levado ao laboratório físico-químico da estação de tratamento de esgoto de Ponta Grossa, ETE-Verde, sendo este um dos laboratórios de referência da Companhia de Saneamento do Paraná-Sanepar.

O material foi submetido à decantação lenta, por 24 horas. Após este período, o decantado, cerca de 10 litros, foram retirados com uma bomba de vácuo, sob lâmina de água.

O material sedimentado, cerca de 10 litros, foi submetido à secagem em estufa, com temperatura de 130 °C, por 9 horas.

A secagem resultou em cerca de 1,00 kg de material seco. Deste, foi retirada uma amostra de 50 g que foi submetida à queima em mufla, a 930 °C, por 2 horas, a fim de, eliminar possíveis compostos orgânicos e sulfetos presentes na amostra, que pudessem interferir na detecção do manganês.

Em seguida, foi determinada e analisada a composição do material como fertilizante (amostras do material seco e do material queimado) através de absorção atômica. Estas análises foram terceirizadas e efetuadas pelo Laboratório da Fundação ABC, localizado em Castro/PR, laboratório contratado pelo autor e credenciado nacionalmente para efetivação deste tipo de análise.

A preparação das amostras, para o ensaio de absorção atômica, seguiu o que determina o Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes Minerais, Orgânicos, Organominerais e Corretivos - SDA - Nº 28 de 27/07/2007, do Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2014).

Este ensaio piloto não foi realizado em triplicata, em virtude dos custos do mesmo e por se tratar de determinação piloto, porém contribuiu para formular condições de contorno para os ensaios efetivos.

3.3 COLETA DE LODO PARA DETERMINAÇÃO DE SÓLIDOS FIXOS E TOTAIS, ANÁLISE QUÍMICA

A coleta de lodo efetiva foi efetuada em 20/08/2018, antes da operação de descarga do decantador de lodo e na metade da bateria de lavagem dos filtros, a fim de que se pudesse verificar a ocorrência de concentração potencial de manganês (Mn), na condição mais favorável, ou seja, o lodo estava em seu estágio final de adensamento.

Foram coletados cerca de 18 litros de lodo, acondicionado em recipiente plástico, limpo, inerte e atóxico (Figura 10), posteriormente, levado para o laboratório da Sanepar, para:

- Determinação dos sólidos totais e sólidos fixos;
- Preparação da amostra a ser encaminhada ao laboratório de análise da composição do material, para determinação do teor de elementos químicos presentes.

Figura 10 – Coleta de lodo



Fonte: Autoria Própria.

- O material coletado foi levado ao laboratório físico-químico da Sanepar.
- A amostra coletada foi acondicionada refrigerada, a uma temperatura de 5,9 °C, por uma semana, após à coleta.
- O material foi submetido à decantação lenta, por uma semana, no refrigerador. Após este período, o decantado, cerca de 8 litros, foram retirados com uma bomba de vácuo, sob lâmina de água.

3.3.1 Sólidos Totais

A determinação dos sólidos totais da amostra foi realizada, segundo o que descreve o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd* –

Method 2540 B. Total Solids Dried at 103-105 °C (AWWA/APHA, 2012), com adequação do procedimento para secagem em mufla.

Inicialmente, foi efetuada a secagem das cápsulas de porcelana, na mufla a uma temperatura de 150 °C. Após a secagem, as cápsulas foram resfriadas em um dessecador e pesadas em balança analítica (Figura 11).

Figura 11 – Preparo das cápsulas



Fonte: Autoria Própria.

Foi adicionado o material sedimentado, ainda resfriado, em três cápsulas de porcelana, cerca de 0,015 litros de material úmido. As amostras de material sedimentado (úmido) foram pesadas em balança analítica e submetidas à secagem em mufla, a uma temperatura de 150 °C, por 4 horas (Figura 12). Ressalta-se que *Method 2540 B* indica temperatura mais elevada, de até 180 ± 2 °C quando o foco é a determinação de espécies minerais, garantia da retirada de sais clorídricos e nitratos da amostra, bem como, eliminação de possíveis compostos orgânicos e sulfetos complexados, que pudessem interferir na detecção do manganês.

Após a secagem, as amostras foram resfriadas em um dessecador por 24 horas e, somente após este período, foram pesadas em balança analítica (Figura 13).

De cada amostra foi retirada cerca de 10 gramas de material seco e acondicionadas individualmente em frasco de coleta (Figura 14), que foram encaminhados para laboratório terceirizado, para posterior determinação da composição química das amostras (ver item 3.4).

Figura 12 – Secagem do material sedimentado úmido



Fonte: Autoria Própria.

Figura 13 – Pesagem do material seco



Fonte: Autoria Própria.

Figura 14 – Amostras acondicionadas

Fonte: Autoria Própria.

Para determinação dos sólidos totais do material seco, foi utilizada a equação:

$$ST = \frac{(A-B)}{V} \quad (1)$$

onde,

ST = sólidos totais [g/L]

A = massa da cápsula + material seco [g]

B = massa da cápsula [g]

V = volume de material sedimentado úmido [L]

3.3.2 Sólidos Fixos

A determinação dos sólidos fixos da amostra foi realizada de forma análoga ao item 3.3.1., inicialmente, foi efetuada a secagem das cápsulas de porcelana, com adequação do procedimento para queima em mufla a uma temperatura de 150 °C. Após a secagem, as cápsulas foram resfriadas em um dessecador e pesadas em balança analítica.

Foi adicionado o material seco em três cápsulas de porcelana, cerca de 0,003 litros de material seco. As amostras de material seco foram pesadas em balança

analítica e submetidas à queima em mufla, a uma temperatura de 550 °C, por 2 horas (Figura 15). Seguindo *Method 2540 E*.

Figura 15 – Pesagem de material seco



Fonte: Autoria Própria.

Após a queima, as amostras foram resfriadas em um dessecador por 2 horas e, somente após este período, foram pesadas em balança analítica.

Para determinação dos sólidos fixos do material queimado, foi utilizada a equação:

$$SF = \frac{(A-B)}{V} \quad (1)$$

onde,

SF = sólidos fixos [g/L]

A = massa da cápsula + material queimado [g]

B = massa da cápsula [g]

V = volume de material seco [L]

3.3.3 Determinação da Composição Química

A composição química como fertilizante do material foi efetuada pelo Laboratório da Fundação ABC, conforme o Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes Minerais, Orgânicos, Organominerais e Corretivos - SDA - Nº 28 de 27/07/2007, do Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2014), com as amostras do material seco, em triplicata, através de absorção atômica método

de análise usado para determinar qualitativamente e quantitativamente a presença de metais.

3.4 AVALIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO E QUANTIDADE DE MINÉRIO DE MANGANÊS (MN) PARA COMPOR MATRIZ DE FERTILIZANTES

Para avaliação da concentração e quantidade de minério de manganês, para compor uma matriz de fertilizante, foram consideradas as seguintes relações e diretrizes.

Cada descarga de lodo da ETA de Sengés gera aproximadamente 90 kg de lodo úmido. Considerando que 9,39%, em média, deste lodo é lodo seco (ver Tabela 4, item 4.2), tem-se 8,45 kg de material seco (agregado mineral) por descarga. Como são três descargas semanais, tem-se aproximadamente 101,4 kg ou 101.400 g de lodo seco por mês, sabendo que 45,34% deste lodo é manganês (ver Tabela 6, item 4.3). Considerando a recomendação oficial do “Sistema de Pesquisa Agropecuária do Brasil”, de que a aplicação é de 350 g.ha⁻¹ de manganês, para aplicação foliar, diluído em água em lavoura de soja (EMBRAPA 1996), chega-se a um potencial de cobertura de uma área aproximada de 131,37 ha por mês ou 1.576,46 ha por ano.

4 RESULTADOS

A seguir, são apresentados os resultados dos ensaios e cálculos realizados.

4.1. RESULTADOS DAS COMPOSIÇÕES QUÍMICAS DO ENSAIO PILOTO

Os resultados da análise de composição química para a amostra de material seco, realizados pela Fundação ABC, são apresentados na Tabela 2 e 3:

A concentração de manganês detectada na amostra do material seco foi de 22,83%, quantidade relevante, considerando que esta amostra foi coletada na condição mais desfavorável do processo, ou seja, o lodo estava em seu estágio inicial de adensamento.

Tabela 2 – Determinação da composição química para o material seco 130° C

Parâmetro	Concentração	Unidade
Nitrogênio	0,04	%
Fósforo	0,15	%
Potássio	0,23	%
Cálcio	1,00	%
Magnésio	0,18	%
Enxofre	0,06	%
Ferro	3,49	%
Manganês	22,83	%
Zinco	0,60	%
Boro	15,04	mg/Kg
Cobre	30,95	mg/Kg

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 3 – Determinação da composição química para o material queimado 930°C

(continua)

Parâmetro	Concentração	Unidade
Nitrogênio	0,05	%
Fósforo	0,29	%
Potássio	0,53	%
Cálcio	2,02	%
Magnésio	0,39	%
Enxofre	0,17	%

**Tabela 3 – Determinação da composição química para o material queimado 930°C
(conclusão)**

Parâmetro	Concentração	Unidade
Ferro	7,63	%
Manganês	53,24	%
Zinco	0,62	%
Boro	35,14	mg/Kg
Cobre	70,78	mg/Kg

Fonte: Autoria Própria.

A concentração de manganês detectada na amostra do material queimado foi de 53,24%, quantidade relevante, considerando a amostra, após a queima, isenta de possíveis compostos orgânicos e sulfetos, que pudessem interferir na detecção do manganês.

Em adição, a concentração de manganês no material queimado fica ainda mais evidente pela ausência dos orgânicos que estão presentes no material seco.

4.2 DETERMINAÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS E SÓLIDOS FIXOS

A Tabela 4, a seguir, apresenta os resultados da determinação de sólidos totais.

Tabela 4 – Determinação de sólidos totais

Amostra	Cápsula material		Material		Sólidos Totais	Sólidos Totais
	Cápsula vazia [g]	sedimentado úmido [g]	Cápsula material seco [g]	Material sedimentado úmido [g]		
1	88,041	139,883	92,899	51,842	4,858	323,877
2	72,598	121,122	77,213	48,524	4,614	307,620
3	73,639	140,403	79,841	66,764	6,202	413,467
Média	78,093	133,803	83,318	55,710	5,225	348,321

Fonte: Autoria Própria.

A determinação dos sólidos totais se faz necessário devido a importância do mesmo na análise do potencial de geração de minério rico em manganês para o uso agrícola como fertilizante.

Neste caso, verifica-se que a produção de lodo seco, para análise química de concentração de manganês, é de um pouco mais de 9% do lodo úmido.

A Tabela 5, a seguir, apresenta os resultados da determinação de sólidos fixos.

Tabela 5– Determinação de sólidos fixos

Amostra	Cápsula						Sólidos Fixos [g/L]	Sólidos Fixos [%]
	Cápsula vazia [g]	Cápsula material seco [g]	Cápsula material queimado [g]	Material seco [g]	Material queimado [g]	Sólidos Fixos		
1	13,004	13,307	13,278	0,303	0,274	91,20	90,36	
2	13,795	14,094	14,061	0,300	0,267	88,867	89,02	
3	14,554	14,894	14,861	0,340	0,307	102,233	90,21	
Média	13,784	14,098	14,067	0,314	0,282	94,100	89,85	

Fonte: Autoria Própria.

A determinação dos sólidos fixos determina a real quantidade de minério que estará presente no produto final.

Da análise, verifica-se que, em média, 89,85% do lodo queimado é classificado como sólidos fixos, ou seja, agregado mineral.

4.3 RESULTADOS DA DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS AMOSTRAS COLETADAS

Os resultados da análise de composição química da amostra do material seco, através de absorção atômica, são apresentados na Tabela 6, a seguir:

Tabela 6 – Determinação da composição química

Parâmetro	Concentração			Unidade
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	
Nitrogênio	0,26	0,25	0,26	%
Fósforo	0,25	0,25	0,25	%
Potássio	48889,42	4644,28	4732,02	mg/Kg

(continua)

Tabela 6 – Determinação da composição química

Parâmetro	Concentração			(conclusão)
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Unidade
Cálcio	14193,82	14609,33	13660,30	mg/Kg
Magnésio	1419,52	1395,51	1390,59	mg/Kg
Enxofre	880,90	847,77	858,77	mg/Kg
Ferro	7,30	7,20	7,16	%
Manganês	46,98	45,49	43,55	%
Zinco	0,56	0,56	0,56	%
Boro	ND	ND	ND	mg/Kg
Cobre	59,54	59,54	60,34	mg/Kg

Fonte: Autoria Própria.

A concentração média de manganês, detectada na amostra do material seco, foi de 45,34%, quantidade significativa, considerando a potencialidade do agregado mineral como fonte de minério concentrado fornecedor de micronutriente manganês.

4.4 AVALIAÇÃO DA POTENCIALIDADE DE CONCENTRAÇÃO DE MINÉRIO DE MANGANÊS (MN) PARA COMPOR MATRIZ DE FERTILIZANTE

Os resultados da avaliação da potencialidade, considerando a produção de 101,4 Kg de lodo seco/mês, foram dadas da seguinte forma:

Considerando que 45,34% do lodo seco é manganês (Tabela 6, item 4.3), ou seja, dos 101,4 Kg de lodo seco 45,98 Kg é manganês (Mn), como a recomendação de aplicação é de 350 g/ha de manganês diluído em água, chega-se a um valor de 131,37 hectare por mês.

Tabela 7 – Determinação da área de aplicação na lavoura de soja.

Parâmetro	Concentração média (%)	Quantidade de manganês equivalente (Kg/mês)	Parâmetro de Controle (g/ha)	Potencial aplicação de manganês (ha/mês)
Manganês	45,34	45,98	350,00	131,37

Fonte: Autoria Própria.

Da análise dos resultados da Tabela 7, verifica-se que o lodo seco tem potencialidade de fornecimento de manganês, para compor a matriz de fertilizante, para atendimento de uma área de 131,37 ha/mês de plantação de soja com deficiência de manganês.

4.5 DISCUSÕES

O Brasil ocupa a quarta posição dos países consumidores de fertilizantes, atrás apenas de China, Índia e Estados Unidos, porém, 68% dos insumos consumidos na agricultura são importados (TAVARES; HABERLI, 2016).

Dentro do quadro de produção de grãos, observando apenas a área de plantio de soja no Estado do Paraná, tem-se que o Estado é o segundo maior produtor de soja, segundo maior produtor de milho, maior produtor de trigo e maior produtor de feijão do Brasil (IBGE, 2019). Isto faz do Estado um dos maiores consumidores potenciais de fertilizantes do Brasil.

Portanto, os valores calculados, de lodo produzido na ETA, são inexpressivos em relação à demanda na fabricação de fertilizantes necessários para sua utilização na agricultura extensiva.

Por exemplo, a utilização do lodo na fabricação de fertilizante, seria de grande interesse para uma pequena empresa de fertilizante de Ponta Grossa, desde que a produção de lodo seco fosse na ordem de 3000 kg por mês. Pois, essa empresa importa da China 60000 kg de sulfato de manganês ($MnSO_4$) por ano, e paga cerca de cinco reais o kg deste produto, ou seja, trezentos mil reais por ano.

Porém, esta quantidade pequena de lodo poderá ter outras aplicações que demandem menores quantidades de fertilizantes como: agricultura orgânica (como pó de rocha); agricultura familiar, na fabricação de substrato para mudas de plantas ou viveiros florestais; substrato para grameiras; na recuperação de solo estéreis. Tais sugestões foram dadas pela EMBRAPA – Escritório de Ponta Grossa – Paraná.

Outro aspecto importante que deve ser tratado com relação ao ganho obtido com a destinação do lodo na agricultura é o custo com acondicionamento e disposição do lodo no solo, feito pelas empresas de saneamento. Pois a destinação adequada dos lodos, produzidos nos tratamentos de água e esgoto, representam custos para as empresas de saneamento, pois parte destas empresas destina seus

lodos para aterros, que cobram das empresas pelo acondicionamento desses resíduos.

O valor pago às empresas de aterros, para tal serviço, é colocado no custo total monetário para o tratamento da água e/ou esgoto. Mas não é só este custo monetário que deve ser lavado em consideração, também devemos lembrar do custo ambiental e social.

Por exemplo, a Companhia de Saneamento do Paraná, tem destinado o lodo, proveniente do tratamento de esgoto, para agricultura, sem custo ao produtor. A empresa trata o lodo, faz as análises necessárias para verificar a viabilidade de destinação como fertilizante, depois de garantida a total sanidade do fertilizante, transporta até as áreas previamente cadastradas para aplicação no solo.

Isto gera um custo monetário, porém, não é feita a cobrança deste serviço, devido a empresa ainda não disponibilizar de condições adequadas em seus processos para cobrar pelo uso do lodo tratado como fertilizante, em uma visão de produção e comercialização.

No entanto, é uma solução economicamente viável e ambientalmente vantajosa para empresa, no sentido da redução dos custos no tratamento de esgoto.

Avaliando a demanda de fertilizantes no mercado e a destinação adequada do lodo da estação de tratamento de água, em atendimento a legislação ambiental verificamos a possibilidade da utilização deste material em diferentes ramos da agricultura e, desta forma, possibilitando uma redução nos custos das empresas de tratamento de água, observando os aspectos técnicos, econômicos, ambientais, sociais e políticos.

5 CONCLUSÕES

Pode-se concluir que, o lodo proveniente da ETA de Sengés se apresenta, devido a elevada concentração de manganês (Mn) presente no lodo, como alternativa de fonte fornecedora de manganês para compor matriz de fertilizantes.

Algumas alternativas se apresentam atrativas, considerando o atendimento de uma área de 131,37 ha/mês com deficiência de manganês, que é atender a demanda de pequenos produtores da agricultura familiar ou produtores orgânicos.

Propondo assim, uma alternativa de destinação do resíduo gerado no processo de tratamento de águas de abastecimento (economia circular) e, deste modo, incorporando valor agregado (redução de custos) e minoração da degradação ambiental na produção e utilização de fertilizantes.

Contudo, a utilização deste material em outras culturas pode se tornar também interessante, considerando a necessidade do micronutriente manganês para plantas em geral.

Como recomendação de trabalhos futuros, recomenda-se a análise de potencialidade para lodos gerados em estações de tratamento de ciclo completo, estudo de isoterma e cinética de segregação do manganês, estudo de aplicação na agricultura orgânica incorporado como pó de rocha ao solo, substrato para mudas de plantas, viveiros florestais e a utilização por grameiras.

Também há a sugestão para produção de fosfato de manganês ($Mn_3(PO_4)_2$), empregado na cutelaria. Ou na produção de ligas alumínio manganês Al-Mn, que tem larga aplicação na fabricação de painéis e na fabricação de latas para acondicionamento de bebidas.

REFERÊNCIAS

ABNT. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**. NBR – 10004: *Resíduos Sólidos – Classificação*. Rio de Janeiro 2004a.

ANDRADE, P. S. **Avaliação do Impacto Ambiental da Utilização de Resíduos de Estações de Tratamento de Água em Indústrias de Cerâmica Vermelha**: Estudo de caso. Campinas, 2005 Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

AZEVEDO NETO, J. M. de; MANFRINI, C.; CAMPOS, J. R.; POVINELLI, J.; PARLATORE, A. C.; HESPANOL, I.; ROSSIN, A. C.; YAGUINUMA, S. **Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água**. 2. ed. São Paulo: CETESB, vol. 1 e 2, 951 p., 1978.

AWWA/APHA – AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION / AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**, 22. ed. Washington: APHA, 216 p., 2012.

AWWA/APHA – AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION / AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**, 22. ed. Washington: APHA, 223 p., 2012.

BITTENCOURT, S. **Gestão do Processo de Uso Agrícola de Lodo de Esgoto no Estado do Paraná: Aplicabilidade da Resolução CONAMA 375/06**. Curitiba. 2014. Tese (Doutora em Engenharia), Universidade Federal do Paraná – UFPR.

BRASIL. Presidência da República Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 03 ago. 2010. Disponível em: <<http://portal.saude.gov.br>>. Acesso em: 29/08/2018.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria Federal n.º 2914 de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para o consumo humano e seu padrão de potabilidade**. 17 p., 2011.

BRASIL. Ministério de Estado da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa N.º 4, de 22 de Novembro de 2016. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 07 dez. 2011.

BRASIL. Ministério de Estado da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes e Corretivos**. Brasília, DF. 2017.

BRASIL AGRICOLA. **Baixo Teor de Manganês e de Outros Nutrientes na Soja não Caracteriza Deficiência Nutricional**. Disponível em: <<http://www.brasilagricola.com/2012/11/baixo-teor-de-manganes-e-de-outros.html>>. Acesso em: 31/05/2019.

BRAUNGART, M.; MCDONOUGH, W. **Cradle-to-cradle: remaking the way we make things**. New York: North Point Press, 2002.

BRAUNGART, M.; MCDONOUGH, W. **The upcycle: beyond sustainability designing for abundance**. New York: North Point Press, 2013.

BRAUNGART, M.; MCDONOUGH, W.; ANASTAS, P.T.; ZIMMERMAN, J. B. **Applying the principles engineering of green cradle-to-cradle design**. Environmental Science and Technology, 434-441 p., 2003.

BRAUNGART, M.; MCDONOUGH, W.; BOLLINGER, A. **Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions: a strategy for eco-effective product and system design**. Journal of Cleaner Production, 15(13-14), 1337-1348 p., 2007.

BROWN, L.; FLAVIN, C.; FRENCH, H. **Estado Mundo 2000**. 1. ed. Salvador: UMA Editora, 288 p. 2000.

CONNER, H. The Trouble Trio – An overview of detention and removal techniques. **WATER QUALITY ASSOCIATION – WQA Convention**. Long Beach, 42 p., 2000.

CORNWELL, D. A. **Water Treatment Residuals Engineering**. Denver: AWWA Research Foundation and American Water Works Association, 2006.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. B. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. São Carlos: RIMA, 2005.

DI BERNARDO, L.; PAZ, L. P. S. **Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água**. 1. ed. São Carlos: LDIBE, vol. 1, 868 p., 2009.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Guia Técnico do Produtor Rural. **Deficiência de Manganês em Lavouras de Soja**. [online] Disponível na internet via WWW URL: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/121497/1/gtec-01.pdf>>. Acesso em: 29/08/2018.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. [online] Disponível na internet via WWW URL: <<http://sidra.ibge.gov.br/home/tabela/1618>>. Acesso em: 14/03/2019.

GODBOLDO, P.; LEWIN, K.; GRAHAM, A.; BARKER, P. **The Potencial Reuse of Water Utility Products as Secondary Commercial Materials**. [S.l.], 2003.

GIROLDO, A. F. **Efeito da Aplicação de B, Cu e Mn em Soja (*Glycine max*. (L.) Merril) Cultivada Sobre um Latossolo de Ponta Grossa, Paraná**. Curitiba. 2000. Dissertação (Mestre em Engenharia), Universidade Federal do Paraná – UFPR.

HAWKEN, P.; LOVINS, A.; LOVINS, H. **Capitalismo natural: criando a próxima revolução industrial**. São Paulo: Pensamento-Cultrix, 2007.

KIRKBY, E. A.; RÖMHELD, V. 2007. **Micronutrients in plant physiology: functions, uptake and mobility**, Proceedings 543, The International Fertiliser Society, P.O. Box 4, York, YO32 5YS, United Kingdom

PORTELLA, K. F.; ANDREOLI, C. V.; HOPPEN, C.; SALES, A.; BARON, O. **Caraterização físico-química do lodo centifugado da estação de tratamento de água Passaúna – Curitiba – Pr. 22º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA AMBIENTAL**. Joinvile, 2003.

LEITÃO, A. **Economia circular: uma nova filosofia de gestão para o séc. XXI**. Portuguese Journal of Finance, Management and Accounting, 2015.

LIMA, L. M. Q. **Lixo: tratamento e biorremediação**. São Paulo: Editora Hemus, p. 265, 2004.

PARÁ. Secretaria Executiva de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. Programa Paraense de Tecnologias Apropriadas. **Compostagem: produção de adubo a partir de resíduos orgânicos**. Belém: SECTAM, 2003.

PARANÁ. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Resolução Sema n. 021, de 30 de junho de 2009. Dispõe sobre licenciamento ambiental, estabelece condições e padrões ambientais e dá outras providências, para empreendimentos de saneamento. **Diário Oficial [do] Estado do Paraná**, Curitiba, PR, 30 jun. 2009. Disponível em: <<http://www.documentos.dioe.pr.gov.br/dioe>>. Acesso em: 29/08/2018.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estágio nutricional das plantas**. Princípios e aplicações. 2a. edição. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. **A. Principles of Plant Nutrition**. 4. ed. Worblaufen-Bern, Switzerland: International Potash Institute, 1987. 687p.

SANZONOWICZ, C. **Deficiência de manganês em Lavouras de Soja**. Guia Técnico do Produtor Rural-EMBRAPA/Cerrados, Ano I (01), 01-02 p., 1996.

SFREDO, G. J. **Soja no Brasil: calagem, adubação e nutrição mineral**. Londrina, EMBRAPA SOJA, 2008.

SHIKLOMANOV, I. A. **World Water Resources: a new appraisal and assessment for the 21th century**. Paris: UNESCO, 76 p., 1998.

STAHEL, W. R. **The performance economy**. London: Palgrave McMillan, 2010.

Tavares, Maria; Haberli Jr, Caetano. **O Mercado de Fertilizantes no Brasil e as Influências Mundiais**, 2016.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D.; HAVLIN, J. L. **Soil Fertility and Fertilizers**. 5. ed. New York: Hamilton Printing Company, 1993. 634 p.

TSUTIYA, M. T.; HIRATA, A. Y. **Aproveitamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água do Estado de São Paulo.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21, 2001, João Pessoa. Anais eletrônicos I-025, João Pessoa: ABES, 2001. 9P.